

Hubungan Nilai Biodiversitas dan Serapan Karbon Vegetasi pada Agroekosistem Sawah Irigasi dan Kebun di Sub DAS Tuntang Hulu, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah, Indonesia

Correlation Between Biodiversity and Carbon Sequestration in Vegetation Across Irrigated Rice and Plantation Agroecosystems in the Upper Tuntang Sub-Watershed at Semarang Regency, Central Java

Eliza Anugraheni*, Alfred Jansen Sutrisno, Galuh Windi Savitri, Bernardinus Arga Nugrahanto, Bistok Hasiholan Simanjuntak

Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian dan Bisnis, Universitas Kristen Satya Wacana
Gedung Dipo 66 Jalan Diponegoro 66 Salatiga, Jawa Tengah, Indonesia

*Korespondensi Penulis: 512021035@student.uksw.edu

Submisi: 27 Maret 2025, Revisi: 10 Mei 2025, Diterima (Accepted): 26 Agustus 2025

ABSTRACT

Irrigated rice fields with flooded cultivation systems tend to produce more carbon than they sequester, as the vegetation is dominated solely by rice plants. In contrast, plantation agroecosystems, which contain a more diverse range of plant species, have greater potential for carbon sequestration due to their higher biomass. This study aimed to analyze the relationship between plant biodiversity and vegetation carbon sequestration in irrigated rice fields and plantation areas within the Upper Tuntang Sub-watershed, at Semarang Regency, Central Java. The research involved 48 sample plots, consisting of 8 irrigated rice field sites and 40 plantation sites, selected based on carbon potential using NDVI data. Research stages included establishing sampling plots, plant species identification, and measuring both biodiversity and vegetation carbon sequestration. Results showed that the biodiversity index in irrigated rice fields fell into the low category, as rice was the only dominant species. In contrast, the plantation exhibited medium biodiversity indices due to the presence of more varied plant species. Carbon sequestration was highest (7,68) at point 5 and lowest (0,01) at point 7 in irrigated rice fields, while in plantation it was highest (230,00) at point 37 and lowest (0,01) at point 39. To assess the relationship between biodiversity and carbon sequestration, the plots were classified into three vegetation structure types: (1) understory plants, (2) understory plants and trees, and (3) understory plants, trees, and shrubs. A significant relationship between biodiversity and carbon sequestration was observed in plots containing both understory plants and trees with sig. value (2-tailed) of 0,047. However, no significant relationship was found in plots dominated solely by understory vegetation with sig. value (2-tailed) of 0,897, nor in plots containing understory, trees, and shrubs with sig. value (2-tailed) of 0,255. The research can serve as a basis for sustainable agroecosystem management, as it shows that increasing plant biodiversity can contribute significantly to increased vegetation carbon sequestration in the Upper Tuntang Sub-Watershed.

Keywords: biodiversity, carbon sequenstration, plantation, rice field



Jurnal Agroteknologi is open access article lisenced under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

How to cite: Anugraheni, E., Sutrisno, A.J., Savitri, G.W., Nugrahanto, B.A., & Simanjuntak, B.H. (2025). Hubungan nilai biodiversitas dan serapan karbon vegetai pada agroekosistem sawah irigasi dan kebun di Sub DAS Tuntang Hulu, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah, Indonesia. *J. Agroteknologi*, 19(1), 1–18. DOI: 10.19184/j-agt.v19i1.53686

PENDAHULUAN

Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Tuntang merupakan Sub DAS yang berada di wilayah Kabupaten Semarang, Jawa Tengah, Indonesia. Sungai Tuntang tidak hanya mengalir melintasi Kabupaten Semarang, tetapi juga melintasi Kabupaten Grobogan dan Kabupaten Demak. Hulu sungai tuntang berada di wilayah Kabupaten Semarang tepatnya di Danau Rawa Pening (Seftyono, 2014). Wilayah Sub DAS Tuntang Hulu terdiri dari ekosistem alami maupun agroekosistem. Ekosistem alami yang dimaksud meliputi hutan, semak belukar, padang rumput, maupun kawasan konservasi, sedangkan agroekosistem merupakan suatu ekosistem pertanian yang mencakup komponen biotik dan abiotik yang dikelola untuk produksi pertanian.

Usaha pertanian dalam upaya memenuhi kebutuhan pangan seringkali dalam praktik budidayanya menghasilkan emisi karbon yang berdampak pada masyarakat. Praktik budidaya dalam pertanian yang berpotensi menghasilkan karbon yaitu sistem budidaya dengan lahan yang tergenangi, pemilihan tanaman, pengolahan lahan, penggunaan pupuk anorganik dan belum matang, pemanenan, serta aktivitas lainnya. Perlakuan usaha tani yang berbeda menghasilkan jumlah gas rumah kaca yang berbeda juga (Shiddieq *et al.*, 2018). Praktik budidaya pertanian tanaman semusim akan banyak menghasilkan emisi karbon. Hal tersebut dikarenakan karbon disimpan pada tanaman utuh, tetapi jika tanaman tersebut ditebang maka karbon akan dilepas sebagai emisi (Yuniawati *et al.*, 2022). Budidaya padi menghasilkan kurang lebih 40% dari emisi metana global. Padi memiliki emisi karbon yang berbeda pada jenis varietas padi yang berbeda (Wihardjaka, 2015).

Sawah dengan sistem irigasi genangan, melepaskan gas metana ke atmosfer karena dekomposisi mikroba bahan organik dalam kondisi kandungan oksigen yang rendah (Shiddieq *et al.*, 2018). Tanah sawah dengan kondisi tergenangi secara terus-menerus memiliki emisi gas metana yang tinggi (Wihardjaka, 2015).

Selain menghasilkan karbon, agroekosistem juga sebenarnya memiliki peranan sebagai penyimpan karbon (Ariyanti *et al.*, 2018). Jenis vegetasi berpengaruh terhadap simpanan karbon pada suatu sistem penggunaan lahan (Ariyanti *et al.*, 2018). Pada agroekosistem sawah biasanya ditanami oleh tanaman semusim yaitu padi. Sawah seluas 3.708,9 ha memiliki cadangan karbon sebesar 2,40 ton/ha, dengan total cadangan karbon 8.901,36 ton, sedangkan pada agroforestri seluas 173.94 ha memiliki cadangan karbon sebesar 193,22 ton/ha dan total cadangan karbon sebesar 33.608,81 ton (Faisal *et al.*, 2021). Pohon berkayu pada agroekosistem kebun lebih memiliki potensi serapan karbon yang tinggi (Lestari & Dewi, 2023). Hal tersebut disebabkan simpanan karbon pada suatu penggunaan lahan dipengaruhi oleh keanekaragaman jenis tumbuhan, diameter pohon penyusun, dan kerapatan individu. Selain itu, perbedaan nilai simpanan karbon dari setiap jenis tanaman juga dipengaruhi oleh berat jenis kayu. Kandungan karbon tanaman pertanian pada batang lebih tinggi bila dibandingkan dengan kandungan karbon daun (Rahajoe *et al.*, 2016).

Populasi tanaman dengan jumlah besar mengindikasikan adanya potensi serapan karbon yang besar (Lestari & Dewi, 2023). Kandungan karbon yang tinggi berkaitan dengan keanekaragaman spesies. Nilai keanekaragaman hayati memiliki hubungan positif terhadap total

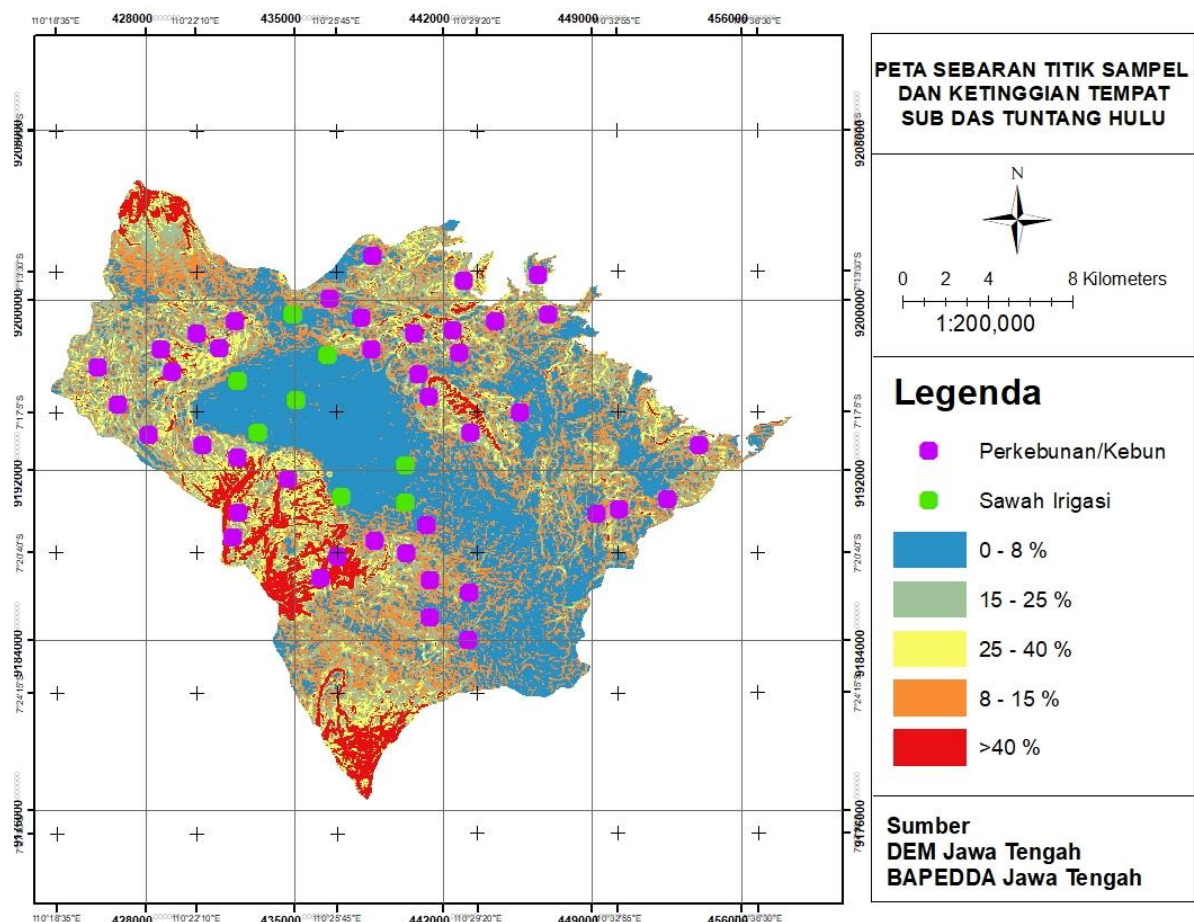
cadangan karbon vegetasi pada semua strata tanaman (Sari *et al.*, 2025). Semakin lebat vegetasi maka semakin tinggi karbon yang tersimpan pada suatu lahan. Perbedaan biomassa dipengaruhi oleh adanya perbedaan jumlah pohon atau kerapatan dan diameter rata-rata pohon (Wijayanto & Prasetyo, 2021). Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi nilai biodiversitas dan serapan karbon, serta mengetahui hubungan antara nilai biodiversitas dan serapan karbon pada lahan sawah irigasi dan kebun yang ada di Sub DAS Tuntang Hulu, Kabupaten Semarang, Indonesia. Penelitian ini dapat menjadi dasar untuk pengelolaan agroekosistem berkelanjutan, apabila nilai biodiversitas berkontribusi signifikan terhadap serapan karbon vegetasi

yang berperan penting dalam mitigasi perubahan iklim dan perencanaan lahan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di sekitar Sub Daerah Aliran Sungai Tuntang Hulu di Kabupaten Semarang, Jawa Tengah. Penentuan lokasi titik sampel dilakukan dengan metode *probability sampling* dengan *stratified random sampling*. Sebaran titik sampel sebanyak 48 titik sampel agroekosistem yang terdiri dari 8 titik sawah irigasi dan 40 titik kebun (**Gambar 1**). Waktu penelitian ini dilaksanakan dari bulan Oktober sampai Desember 2024.



Gambar 1. Peta pengambilan sampel

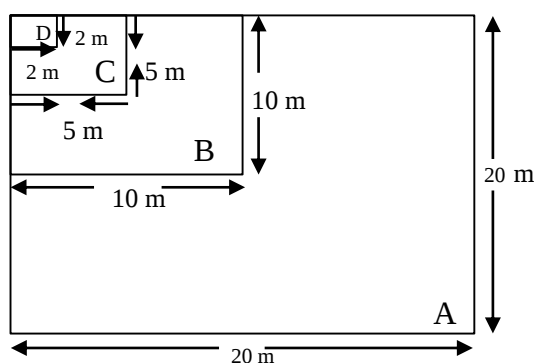
Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat tulis, meteran, patok besi, tali tambang, gunting tanaman, *cutter*, timbangan, dan oven (merk LabTech). Bahan yang digunakan adalah plastik dan kertas, serta data-data penelitian. Data penelitian berupa data primer maupun sekunder. Data primer diperoleh dari hasil observasi lapangan. Data sekunder diperoleh dari pemerintah setempat berupa peta wilayah penelitian.

Tahapan Penelitian

Proses penelitian yang dilakukan mulai dari pengumpulan data di lapangan hingga analisis di laboratorium dijelaskan sebagai berikut:

1. Pembuatan demplot berukuran sesuai dengan strata tanaman yang ada di lahan sebagaimana disajikan pada **Gambar 2**. Demplot terkecil berukuran 2×2 m untuk keperluan pengambilan sampel tumbuhan bawah (DBH < 5 cm) dan serasah vegetasi. Demplot berukuran 5×5 m untuk keperluan mengambil sampel vegetasi tumbuhan tingkat semak (DBH 5–9 cm). Demplot berukuran 10×10 m untuk keperluan pengambilan sampel vegetasi tumbuhan tingkat perdu (DBH 10–19 cm). Demplot dengan luasan $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ untuk keperluan pengukuran vegetasi pohon (DBH 20–34 cm).



Gambar 2. Demplot pengambilan sampel

2. Proses pengambilan data inventarisasi biodiversitas tanaman yang ada di agroekosistem sawah irigasi dan kebun dengan mengambil parameter nama spesies dan populasi tiap spesies.
3. Proses pengukuran biomassa vegetasi pohon dilakukan dengan mengukur tinggi pohon dengan alat ukur hagameter, batangnya diukur dari batang bagian bawah setinggi 1,3 m. Selanjutnya pengukuran dengan menggunakan meteran atau jangka sorong untuk mengukur diameter batangnya.
4. Pengambilan sampel tumbuhan bawah dilakukan pada pada luasan $0,5 \times 0,5$ m setiap plot yang dipotong dengan pisau atau gunting bagian tanamannya di atas permukaan tanah kemudian ditimbang untuk berat basahnya.
5. Setelah sampel tumbuhan bawah dikeringkan dengan oven pada suhu 80°C selama 48 jam untuk mendapatkan berat keringnya.

Rancangan Percobaan

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksploratif yaitu dengan melakukan ekplorasi untuk mengetahui hal baru dan memperdalam pengetahuan. Hal baru yang dimaksud adalah belum adanya penelitian eksplorasi terkait penelitian serapan karbon pada agroekosistem di Sub DAS Tuntang Hulu. Sebelumnya sudah dilakukan pra-penelitian dengan berdasarkan analisis NDVI yang digunakan untuk menentukan karbon potensial tersimpan dari setiap tipe agroekosistem yang ada di wilayah tersebut. Penentuan lokasi vegetasi menggunakan NDVI, pertama-tama diperoleh citra satelit yang memuat pita merah (RED) dan inframerah dekat (NIR). Kemudian, nilai NDVI dihitung dengan rumus sebagai berikut:

Tabel 1. Jenis data

Jenis Data	Satuan	Sumber	Fungsi
Jumlah spesies pohon	batang	Observasi lapangan	Menghitung nilai biodiversitas
Jumlah individu pohon	batang	Observasi lapangan	Menghitung nilai biodiversitas
Pengukuran batang	cm	Observasi lapangan	Menghitung serapan karbon untuk pohon
Biomassa	ton	Analisis	Data biomassa
Berat Basah	gram	Analisis laboratorium	Menghitung serapan karbon
Berat kering	gram	Analisis laboratorium	Menghitung serapan karbon

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

Keterangan:

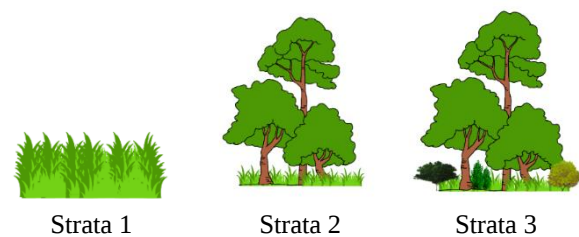
NIR = nilai reflektasi pada pita *Near Infrared*

RED = nilai refleksi pada pita merah

Sebaran titik sampel sebanyak 48 titik sampel agroekosistem yang terdiri dari 8 titik sawah irigasi dan 40 titik kebun. Data yang dikumpulkan berdasarkan pada perhitungan di lapangan dan laboratorium (**Tabel 1**).

Data hasil observasi di lapangan kemudian dianalisis untuk mengetahui nilai biodiversitas dan serapan karbon. Nilai biodiversitas dihitung masing-masing indeks keanekaragaman, indeks kemerataan, dan indek kekayaannya menggunakan rumus perhitungan. Serapan karbon dihasilkan dengan metode destruktif dan perhitungan rumus allometrik. Pada tanaman yang masuk dalam strata tumbuhan bawah serapan karbon dihitung dengan metode destruktif, sedangkan tumbuhan bawah berupa pohon dan perdu dihitung berdasarkan rumus allometriknya. Dalam pengujian korelasi antara nilai biodiversitas dan serapan karbon 48 titik sampel dibagi ke dalam 3 strata (**Gambar 3**), strata 1 adalah tumbuhan bawah, strata 2 adalah tumbuhan bawah + pohon, dan strata 3 tumbuhan bawah + perdu + pohon. Semakin kompleks strata maka biodiversitas tinggi dan serapna karbon tinggi, dikarenakan keanekaragaman tanaman pada suatu lahan memengaruhi

serapan karbon yang tersimpan (Wijayanto & Prasetyo, 2021).

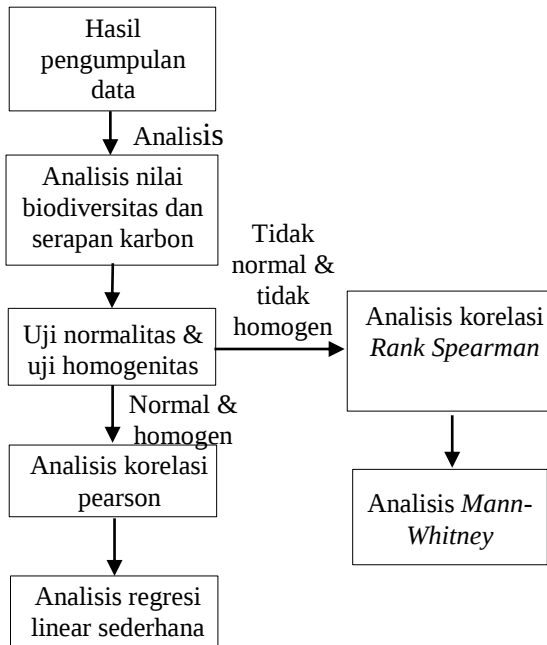


Gambar 3. Strata tumbuhan: strata 1 terdiri dari tumbuhan bawah, strata 2 terdiri dari tumbuhan bawah + pohon, strata 3 terdiri dari tumbuhan bawah + perdu + pohon

Hasil nilai biodiversitas dan serapan karbon kemudian diuji normalitas dan homogenitasnya. Jika data normal dan homogen, maka kemudian dicari data hubungannya menggunakan uji korelasi *pearson* yang kemudian diuji tingkat hubungannya menggunakan analisis regresi linier sederhana. Jika data tidak normal dan tidak homogen, maka menggunakan uji korelasi *Rank Spearman* dan dilanjutkan uji beda menggunakan uji *Mann-Whitney*.

Analisis Biodiversitas Tanaman

Biodiversitas tanaman ditentukan oleh kekayaan, keanekaragaman, dan kerapatan vegetasi pada suatu lahan. Kekayaan merupakan jumlah dari setiap spesies yang dijumpai dari seluruh petak. Keanekaragaman merupakan banyaknya jumlah spesies dan jumlah individu masing-masing jenis (kekayaan spesies).



Gambar 4. Analisis data penelitian

Kerapatan merupakan jumlah individu setiap spesies yang dijumpai dalam petak (Hidayat, 2018). Data hasil inventarisasi tanaman berupa nama spesies dan populasi tiap spesies.

Indeks keanekaragaman spesies tanaman dihitung menggunakan rumus persamaan indeks *Shannon-Wiener* (Hikmat & Setyawati, 2017) sebagai berikut:

$$H' = \sum p_i \ln p_i$$

$$p_i = \frac{N_i}{N}$$

Keterangan:

H' = Indeks keragaman spesies *Shannon-Wiener*

N_i = Jumlah individu spesies ke- i

N = Jumlah individu seluruh spesies

Kriteria indeks keanekaragaman tanaman menurut *Shannon-Wiener* dibagi menjadi 3 kategori sebagai berikut:

$H' < 1$ = Keanekaragaman rendah

$1 < H' < 3$ = Keanekaragaman sedang

$H' > 3$ = Keanekaragaman tinggi

Indeks kemerataan bertujuan untuk mengetahui keseimbangan antara sebaran

suatu individu pada spesies di suatu komunitas, pohon ditentukan dapat dihitung menggunakan rasio *Hill* (Hikmat & Setyawati, 2017), yaitu:

$$E = \frac{H'}{\ln(S)}$$

Keterangan:

E = Indeks kemerataan

S = Jumlah total jenis

H' = Indeks keanekaragaman *Shannon-Wiener*

$\ln$ = Logaritma natural

Kriteria nilai indeks:

$R < 3,5$ = Kekayaan jenis rendah

$R 3,5-5,0$ = Kekayaan jenis sedang

$R > 5,0$ = Kekayaan jenis tinggi

Indeks kekayaan untuk mengetahui jumlah suatu jenis tumbuhan yang terdapat pada suatu komunitas, dengan menggunakan indeks *Margalef* (Hikmat & Setyawati, 2017), yaitu:

$$R = \frac{S-1}{\ln(N)}$$

Keterangan:

R = Indeks kekayaan jenis *Margalef*

S = Jumlah jenis yang teramati

N = Jumlah total individu (seluruh jenis) yang teramati

$\ln$ = Logaritma natural

Kategori kekayaan jenis untuk indeks kekayaan *Margalef* sebagai berikut:

$R < 3,5$ = Kekayaan jenis rendah

$R 3,5-5,0$ = Kekayaan jenis sedang

$R > 5,0$ = Kekayaan jenis tinggi

Biomassa tumbuhan merupakan jumlah total bobot kering semua bagian tumbuhan hidup. Biomassa dinyatakan dengan satuan ton berat kering per satuan luas (Maulida *et al.*, 2018). Tanaman yang diambil dari lapangan digunakan sebagai data serapan karbon tanaman dengan cara destruktif, kemudian dihitung dengan rumus (Hairiah & Rahayu, 2007) berikut:

$$\text{Total berat kering} = \frac{BK \text{ sampel (g)}}{BB \text{ sampel (g)}} \times \text{total BB (g)}$$

Keterangan:

BK = Berat kering

BB = Berat basah

Data lapangan untuk menghitung biomassa karbon pada pohon dilakukan dengan menghitung tinggi pohon setinggi 1,3 meter atau sebatas dada. Setelah itu dilakukan pengukuran diameter batang pohon dan juga tinggi pohon dengan menggunakan trigonometri dasar. Trigonometri dasar ditentukan dengan jarak pohon dan sudut kemiringan pohon. Hasil dari data lapangan tersebut kemudian dihitung dengan menggunakan rumus seperti pada **Tabel 2**.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara umum wilayah Sub DAS Tuntang Hulu masih memiliki hutan alami dengan banyak jenis tumbuhan dan hewan yang unik. Air disini melimpah dan tanahnya subur sehingga membantu menjaga keseimbangan alam. Masyarakat memanfaatkan lahan untuk bertani dengan cara tradisional yang ramah lingkungan,

seperti menanam padi di sawah yang mendapat air dari sungai atau mata air sehingga tanah tetap subur dan aliran air terjaga. Selain sawah, ada juga kebun yang ditanami pohon berkayu sesuai kondisi setempat, yang juga menjadi tempat hidup bagi berbagai hewan kecil. Cara bertani ini menjaga keseimbangan antara kegiatan pertanian dan alam sehingga sumber daya di Sub DAS Tuntang Hulu tetap terjaga. Gambaran kondisi lahan tersaji pada **Gambar 5**.

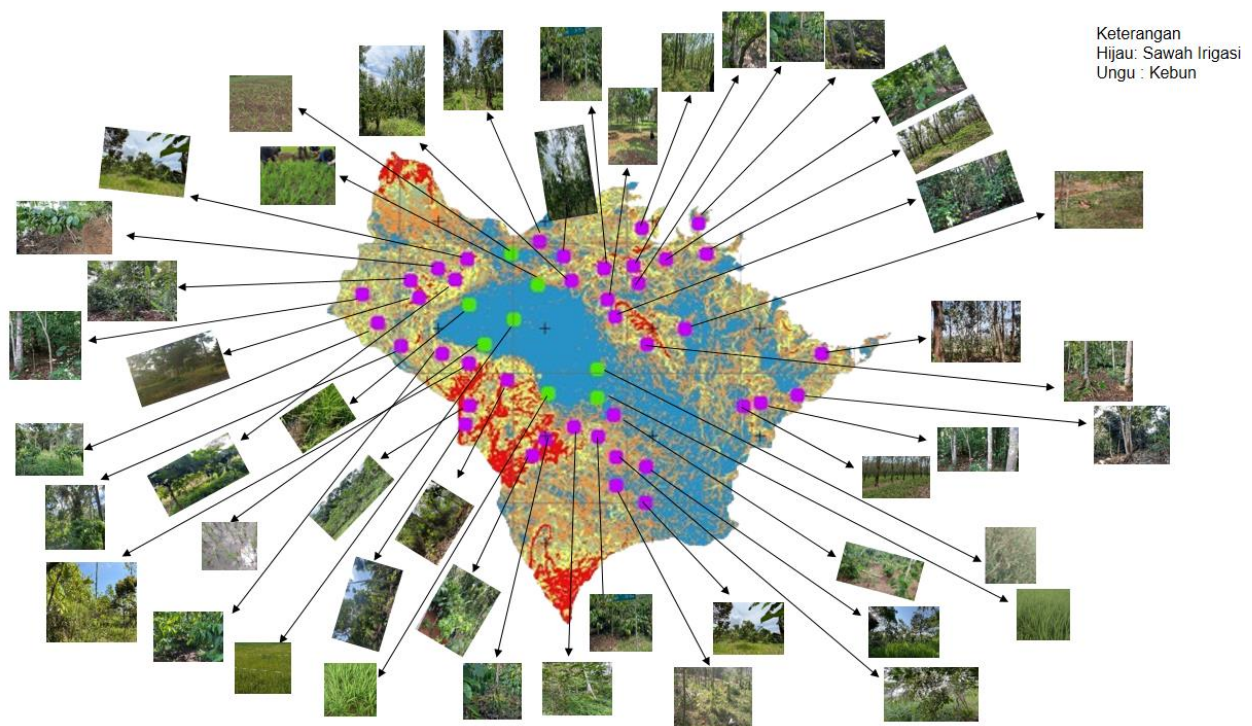
Nilai Biodiversitas Tanaman

Nilai biodiversitas tanaman terdiri dari indeks keanekaragaman, indeks pemerataan, dan indeks kekayaan. Nilai biodiversitas dihitung dari data spesies dan jumlah populasi dari spesies tersebut. Pada lahan sawah irigasi, tanaman yang mendominasi adalah tanaman padi. Padi merupakan tanaman yang tergolong dalam famili rumput-rumputan sehingga dalam pembagian strata tanaman padi termasuk dalam tumbuhan bawah. Nilai biodiversitas tanaman dihitung menggunakan rumus pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Pengolahan data serapan pohon

Jenis pohon	Estimasi biomassa pohon (kg/pohon)	Sumber
Kopi dipangkas	$BK = 0,281 D^{2.06}$	Arifin, 2001 (dalam Hairiah & Rahayu, 2007)
Pisang	$BK = 0,030 D^{2.13}$	Arifin, 2001 (dalam Hairiah & Rahayu, 2007)
Bambu	$BK = 0,131 D^{2.28}$	Priyadarsini, 2000 (dalam Hairiah & Rahayu, 2007)
Sengon	$BK = 0,0272 D^{2.831}$	Sugiharto, 2002 (dalam Hairiah & Rahayu, 2007)
Kakao	$BK = 0,821 D^{1.98}$	Yuliasmara <i>et al</i> , 2009 (dalam Ariyanti <i>et al.</i> , 2018)
Palem	$BK = 4,5 + 7,7H$	Frangi & Lugo, 1985 (dalam Ariyanti <i>et al.</i> , 2018)
Karet	$Y = 0,11\rho D^{2.62}$	Ketterings, 2001 (dalam Alinus <i>et al.</i> , 2017)
Mahoni	$Bt = 0,9029(D^2.H)^{0.6804}$	Purwanto <i>et al</i> , 2012 (dalam Drupadi <i>et al.</i> , 2021)
Jati	$Bt = 0,015(D^2.H)^{1.084}$	BPKH 2009 (dalam Drupadi <i>et al.</i> , 2021)
Pohon lainnya	$Bt = 0,0219(D^2.H)^{1.0102}$	Scheyvens <i>et al.</i> (2011) (dalam Drupadi <i>et al.</i> , 2021)

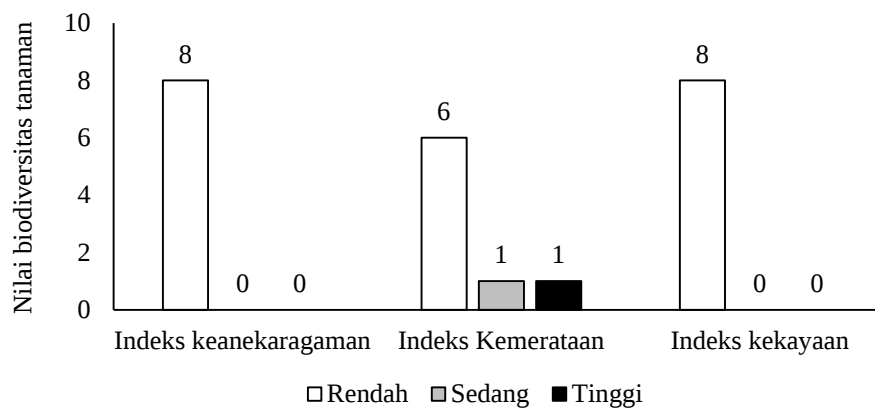
Keterangan: Bt = biomassa total (kg/pohon), BK = berat kering (gram), D = diameter (cm), H = tinggi pohon (cm), ρ = BJ kayu (g/cm³), Y = total biomassa (kg/pohon)



Gambar 5. Dokumentasi kondisi lahan pengambilan sampel

Nilai indeks keanekaragaman tanaman di lahan sawah irigasi pada semua titik (**Gambar 6**) dalam kategori rendah ($H' = 0-0,77$). Hal tersebut terjadi karena pada lahan tersebut terdapat satu tanaman yang mendominasi yaitu tanaman padi. Meskipun pada lahan sawah irigasi tidak hanya tanaman padi saja, tetapi tanaman padi merupakan tanaman utama pada lahan sawah irigasi. Hal tersebut mengurangi variasi spesies lain yang dapat tumbuh dan berkembang pada lahan tersebut, sehingga mengakibatkan rendahnya tingkat keanekaragaman pada lahan sawah irigasi. Keanekaragaman hayati tanaman mengacu pada keragaman dan variabilitas tanaman tersebut berada (Ikhsan *et al.*, 2024). Apabila suatu komunitas memiliki banyak jenis tanpa ada spesies yang mendominasi, maka keanekaragaman jenis komunitas tersebut akan tinggi (Baderan *et al.*, 2021).

Indeks keanekaragaman berpengaruh pada nilai indeks kemerataan tanaman, karena berkaitan dengan variasi jenis tanaman yang ada pada lahan tersebut. kondisi indeks kemerataan tinggi menunjukkan bahwa distribusi atau persebaran tanaman pada lahan tersebut merata. Nilai indeks kemerataan jenis berada pada *range* 0 hingga 1. Nilai kemerataan jenis akan semakin rendah jika mendekati angka 0, dan semakin tinggi jika mendekati angka 1. Jika distribusi individu spesies tersebar secara merata di setiap spesies, maka nilai kemerataan jenis mencapai nilai maksimal yaitu 1. Sebaliknya, jika hanya ada satu jenis spesies, maka nilai kemerataan jenisnya adalah 0 (Rawana *et al.*, 2023). Berdasarkan data penelitian dari 8 titik lahan sawah irigasi, hanya 2 lahan sawah yang memiliki lebih dari 1 spesies tanaman.



Gambar 6. Nilai biodiversitas tanaman sawah irigasi

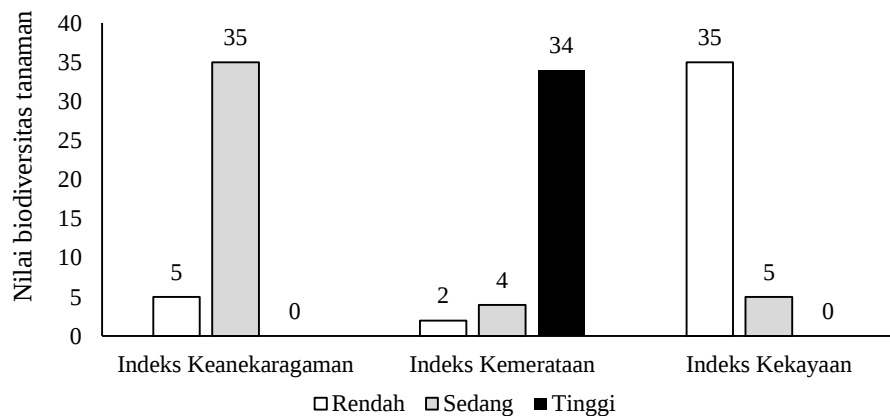
Hal tersebut sesuai dengan hasil perhitungan indeks kemerataan yang menyatakan bahwa nilai indeks kemerataan dari 6 titik lainnya dalam kategori rendah ($E = 0-0,24$). Lahan sawah irigasi yang memiliki nilai kemerataan sedang ($E = 0,43$) yaitu lahan yang ditanami oleh padi dan terdapat eceng gondok, sedangkan lahan yang memiliki nilai kemerataan tinggi ($E = 0,69$) yaitu terdiri dari tanaman padi, teki, dan *ludwigia*.

Nilai kekayaan tanaman pada sawah irigasi rendah ($R = 0-0,41$). Hal disebabkan oleh kurangnya keanekaragaman spesies tanaman di lahan tersebut yang ditunjukkan dari rendahnya nilai indeks keanekaragaman yang ada pada lahan tersebut. Besarnya nilai kekayaan spesies dipengaruhi oleh banyaknya jumlah spesies dan jumlah individu dalam suatu komunitas (Nasir *et al.*, 2019). Sawah dengan keanekaragaman rendah disebabkan karena terdapat satu jenis tanaman utama yaitu tanaman padi (mendominasi). Praktik pertanian monokultur mengandalkan satu jenis tanaman saja sehingga mengurangi keragaman spesies tanaman lain yang dapat tumbuh di sekitar sawah. Oleh karena itu, rendahnya nilai kekayaan tanaman dapat dilihat sebagai dampak dari rendahnya

jumlah spesies tanaman yang ada di lahan tersebut.

Indeks keanekaragaman tanaman pada lahan kebun rata-rata dalam kategori sedang ($H' = 1,29-2,82$) (**Gambar 7**). Kategori sedang ini menunjukkan bahwa pada lahan kebun menunjukkan keanekaragaman yang seimbang, yang berarti bahwa ada variasi yang lebih banyak dibanding lahan dengan indeks keanekaragaman rendah ($H' = 0,37-1,89$), akan tetapi belum mencapai tingkat yang sangat tinggi. Pada lahan dengan keanekaragaman sedang ini terdapat keseimbangan antara keragaman spesies dan tanaman yang mendominasi. Keberadaan spesies dalam kategori sedang ini cenderung lebih merata yang berarti bahwa tidak ada satu spesies yang mendominasi secara besar-besaran, tetapi antar spesies tanaman tumbuh dengan jumlah cukup seimbang.

Indeks kemerataan menggambarkan kemerataan kekayaan atau kelimpahan individu antara spesies. Jika masing-masing jenis memiliki jumlah individu yang sama, maka komunitas tersebut akan mencapai nilai kemerataan yang tinggi. Sebaliknya, jika nilai kemerataan rendah maka komunitas tersebut memiliki



Gambar 7. Nilai biodiversitas tanaman kebun

kemerataan yang sangat rendah. Nilai kemerataan (*evenness*) berkisar antara 0 hingga 1, apabila nilai indeks mendekati 1 maka semakin merata penyebaran individu di dalam komunitas tersebut (Baderan *et al.*, 2021). Pada **Gambar 7** menunjukkan bahwa indeks kemerataan lahan kebun sebagian besar dalam kategori tinggi.

Lahan yang memiliki indeks kemerataan tinggi ($E = 0,65–0,97$) disebabkan karena pada lahan tersebut distribusi atau persebaran tanaman cukup merata di seluruh area kebun, yang berarti bahwa tidak ada bagian tanaman yang tumbuh terlalu padat ataupun terlalu jarang. Pada indeks kemerataan sedang ($E = 0,32–0,41$), tanaman tersebar dengan cukup merata, tetapi ada beberapa area yang sedikit lebih padat atau lebih jarang dibandingkan dengan area lain. Ini menunjukkan adanya variasi dalam distribusi tanaman, tetapi tidak terlalu mencolok. Indeks kemerataan rendah ($E = 0,15–0,29$) berarti distribusi tanaman sangat tidak merata. Ada area yang sangat padat dengan tanaman, sementara area lainnya hampir tidak ada tanaman. Hal tersebut sejalan dengan yang menyatakan bahwa, tingkat kemerataan suatu jenis ditentukan oleh sebaran setiap jenis pada

setiap plot pengamatan. Semakin merata distribusi suatu jenis di seluruh lokasi penelitian, maka semakin tinggi nilai kemerataannya. Sebaliknya, jika beberapa jenis mendominasi sementara jenis lainnya tidak mendominasi atau memiliki densitas yang lebih rendah, maka nilai kemerataan komunitas tersebut akan rendah (Setiarno *et al.*, 2022).

Indeks kekayaan tanaman pada lahan kebun ditentukan oleh jumlah spesies tanaman yang ada di suatu area tertentu dalam kebun tersebut. Indeks ini memberikan gambaran mengenai seberapa bervariasi (beragam) komposisi tanaman yang ada, baik itu tanaman utama (seperti tanaman komoditas) maupun tanaman pendukung lainnya. Semakin tinggi indeks kekayaan tanaman, semakin banyak spesies yang ada di lahan tersebut. **Gambar 7** menunjukkan bahwa rata-rata indeks kekayaan pada lahan kebun dalam kondisi rendah ($R = 0,72–3,42$). Hal tersebut disebabkan karena keanekaragaman tanaman yang ada pada lahan tersebut cenderung sedikit ataupun seimbang. Dari nilai tersebut tidak ada lahan yang memiliki kekayaan yang tinggi dikarenakan tidak adanya lahan yang memiliki keanekaragaman yang tinggi. Kekayaan

jenis mengacu pada jumlah spesies dalam suatu komunitas. Banyak sedikitnya jumlah spesies di lapangan memengaruhi besar kecilnya indeks kekayaan. Indeks kekayaan *Margalef* menghitung jumlah spesies dengan menggunakan fungsi logaritma natural, yang berarti bahwa peningkatan jumlah spesies berkaitan terbalik dengan peningkatan jumlah individu. Secara umum, komunitas atau ekosistem dengan jumlah spesies yang banyak akan memiliki jumlah individu yang lebih sedikit untuk setiap spesies tersebut (Baderan *et al.*, 2021).

Serapan Karbon Vegetasi

Tanaman yang berada pada lahan sawah irigasi merupakan tanaman yang termasuk dalam strata tumbuhan bawah. Berdasarkan **Tabel 3**, serapan karbon (C) tertinggi pada titik 5 dengan total simpanan karbon yaitu 7,68 ton/ha. Pada titik ini hanya terdiri dari tanaman padi saja tetapi tanaman padi pada lahan ini memiliki anakan lebih banyak dibanding yang lain sehingga berat segar sampel yang diambil jauh lebih berat.

Tabel 3. Nilai serapan karbon (C) vegetasi pada sawah irigasi

Titik	Total penyimpanan karbon (ton/ha)
1	3,73
2	0,28
3	0,5
4	0,5
5	7,68
6	3,6
7	0,01
8	0,1

Selain itu berdasarkan **Gambar 8a**, tanaman padi di titik 5 sudah memasuki fase berbulir dan sudah menguning yang artinya akan segera dipanen. Bulir pada

padi yang sudah mulai masak tentunya memiliki peran dalam menambah berat segar dari tanaman padi sehingga jika hal tersebut juga berpengaruh terhadap bobot kering dan total karbon tersimpan pada tanaman tersebut. Total penyimpanan karbon terendah ada pada titik 7 yaitu 0,01 ton/ha. Pada lahan tersebut ditanami tanaman sedap malam. Apabila dibandingkan dengan tanaman padi, tanaman sedap malam tidak lebih berat dari tanaman padi.



(a)



(b)

Gambar 8. Lahan sawah irigasi titik 5 (a) dan lahan sawah irigasi titik 7 (b)

Berdasarkan **Gambar 8b**, tanaman sedap malam yang ditanam di lahan masih kecil. Dari pemilik lahan menyatakan bahwa, tanaman sedap malam tersebut memang belum lama ditanam. Tanaman sedap malam tersebut masih muda, kecil, dan belum berbunga. Jika dibandingkan dengan tanaman padi lainnya memang memiliki berat basah yang lebih

sedikit sehingga hasil biomassa yang dihasilkan tidak banyak. Hal tersebut dikarenakan karbon dan biomassa memiliki korelasi yang positif maka jika ada peningkatan ataupun penurunan biomassa akan menyebabkan peningkatan ataupun penurunan juga pada kebun (Yolanda *et al.*, 2021).

Serapan karbon pada agroekosistem sawah irigasi dan kebun memiliki nilai yang berbeda. Hal tersebut dilihat dari masing-masing penggunaan lahannya juga berbeda. Sawah irigasi cenderung hanya didominasi oleh tanaman padi yang termasuk dalam strata tumbuhan bawah, sedangkan pada lahan kebun lebih bervariasi penggunaannya yaitu biasanya ditanami dengan tanaman yang termasuk dalam strata yang berbeda-beda. Pada lahan kebun terdapat tanaman yang masuk dalam strata baik tumbuhan bawah, semak, perdu, maupun pohon. Pada semua total penyimpanan karbon pada masing-masing titik sebagian diperoleh dari tumbuhan bawah (**Tabel 3**). Jumlah biomassa yang dihasilkan oleh tumbuhan bawah seperti semak, tanaman merambat, ataupun herba dapat berbeda-beda, tetapi umumnya sekitar 3% dari total biomassa keseluruhan

yang berada pada lahan (Iskandar *et al.*, 2020).

Berdasarkan **Tabel 4**, total penyimpanan karbon tertinggi berada pada titik 37 yaitu 230,00 ton/ha, sedangkan total penyimpanan karbon terendah ada pada titik 39 yaitu 0,01 ton/ha. Tanaman yang ada pada lahan titik 37 yaitu kopi, durian, rambutan, kedondong, palem merah, daun katuk, jotang kuda, rumput keranjang, dan talas (**Gambar 9a**). Pada titik 39 (**Gambar 9b**), tanaman yang ada di lahan tersebut meliputi lamtoro, kopi, singkong, alpukat, serai, andong, cabai, dan pepaya. Dari kedua titik tersebut berbeda komposisi vegetasinya karena pada titik 39 lebih banyak terdapat rumput atau tumbuhan bawah dibanding titik 39.

Berdasarkan **Gambar 9a**, pada lahan 37 terdiri dari tumbuhan bawah dan pohon. Pohon yang berada pada lahan tersebut tinggi dan memiliki diameter yang besar, sehingga diperkirakan sudah tumbuh beberapa tahun yang lalu. Berbeda dengan lahan 37, pohon pada lahan 39 masih muda dan memiliki diameter yang kecil, sehingga total penyimpanan karbon kedua lahan juga berbeda. Lahan yang ditanami dengan tanaman tahunan dan sudah berumur tua

Tabel 4. Nilai serapan karbon (C) vegetasi pada lahan kebun

Titik	Total penyimpanan C (ton/ha)	Titik	Total penyimpanan C (ton/ha)	Titik	Total penyimpanan C (ton/ha)	Titik	Total penyimpanan C (ton/ha)
1	5,74	11	0,88	21	7,09	31	1,78
2	5,38	12	0,85	22	0,33	32	0,11
3	1,95	13	1,54	23	1,85	33	9,42
4	1,01	14	2,02	24	0,97	34	1,62
5	2,86	15	0,10	25	1,12	35	0,51
6	8,20	16	0,04	26	0,66	36	2,83
7	4,80	17	2,63	27	1,63	37	230,00
8	5,49	18	0,46	28	0,74	38	1,46
9	6,60	19	1,58	29	0,65	39	0,01
10	0,87	20	0,72	30	1,91	40	2,97

memiliki biomassa yang lebih tinggi dibandingkan tanaman yang kecil dan berumur muda. Semakin banyak jumlah individu dan semakin besar diameter pohon penyusun akan memperbesar proses penyerapan karbondioksida. Dari hal tersebut akan memberikan nilai simpanan karbon yang lebih besar (Ariyanti *et al.*, 2018).



(a)



(b)

Gambar 9. Lahan kebun titik 37 (a) dan lahan kebun titik 39 (b)

Biomassa pada batang memiliki kontribusi umumnya paling besar dibandingkan biomassa pada lainnya. Hal tersebut disebabkan karena batang menyimpan sebagian besar cadangan hasil fotosintesis untuk pertumbuhan tanaman. Besarnya simpanan karbon pada tegakan dipengaruhi oleh besarnya volume biomassa karena biomassa tersusun dari unsur karbon sebanyak 50%. Peningkatan

jumlah biomassa akan diikuti oleh peningkatan jumlah serapan karbon (Putri & Wulandari, 2015). Tinggi rendahnya biomassa dan karbon dipengaruhi oleh kemampuan vegetasi menyerap CO_2 dari lingkungan melalui proses fotosintesis. Semakin lebat vegetasi maka semakin tinggi energi potensial yang tersimpan pada suatu lahan. Perbedaan biomassa dipengaruhi oleh adanya perbedaan jumlah pohon atau kerapatan dan diameter rata-rata pohon (Wulandari *et al.*, 2022).

Hubungan Nilai Biodiversitas dan Serapan Karbon Vegetasi

Berdasarkan strata tanaman yang ditemukan pada lahan sawah irigasi dan kebun, perhitungan hubungan nilai biodiversitas dan serapan karbon tanaman dibagi menjadi 3 yaitu tumbuhan bawah, tumbuhan bawah dan pohon, serta tumbuhan bawah, perdu, dan pohon. Dari 8 titik sawah irigasi semuanya terdiri dari 1 strata yaitu tumbuhan bawah. Pada 40 lahan kebun terdiri dari 20 titik yang terdapat 2 strata yaitu tumbuhan bawah dan pohon, serta 20 titik yang terdapat 3 strata yaitu tumbuhan bawah, perdu, dan pohon.

Kriteria uji normalitas adalah jika nilai signifikansi $< 0,05$ maka data tidak terdistribusi normal dan jika nilai signifikansi $\geq 0,05$ maka data terdistribusi normal. Dalam kriteria uji homogenitas yaitu jika nilai signifikansi $< 0,05$ maka varian kelompok data tidak homogen dan jika nilai signifikansi $\geq 0,05$ maka varian kelompok data homogen. Berdasarkan nilai normalitas (**Tabel 5**) pada strata tumbuhan bawah, data serapan karbon dan keanekaragaman tidak normal dan tidak homogen. Data terdistribusi normal jika nilai sig $> 0,05$, sedangkan hasil uji normalitas menunjukkan nilai sig $0,001 < 0,05$ yang berarti data tidak normal. Data

dapat dikatakan homogen jika nilai sig > 0,05, sedangkan tabel uji homogenitas menunjukkan nilai sig $0,001 < 0,05$ yang berarti data tidak homogen.

Tabel 5. Nilai uji normalitas dan homogenitas pada strata tumbuhan

Kelas	Normalitas	Homogenitas
- Tumbuhan bawah	0,001 (tidak normal)	0,001 (tidak homogen)
- Tumbuhan bawah + pohon	0,071 (normal)	0,046 (tidak homogen)
- Tumbuhan bawah + pohon + perdu	0,009 (tidak normal)	0,000 (tidak homogen)

Pada strata tumbuhan bawah pohon, nilai uji normalitas menyatakan bahwa serapan karbon dan keanekaragaman normal tetapi tidak homogen. Data serapan karbon dan keanekaragaman terdistribusi normal dengan nilai sig $0,071 > 0,05$, tetapi tidak homogen karena nilai sig uji homogenitas adalah $0,046 < 0,05$. Begitu pula pada strata tumbuhan bawah – perdu – pohon, data serapan karbon dan keanekaragaman terdistribusi tidak normal (nilai sig $0,009 < 0,05$), data ini tidak homogen dengan nilai sig uji homogenitas $0,000 < 0,05$. Oleh karena itu, pada semua strata yang diuji, digunakan uji korelasi non-parametrik *Rank Spearman* untuk menganalisis hubungan antara biodiversitas dan serapan karbon permukaan atas tanah

Kriteria dari uji korelasi adalah jika nilai sig. (2-tailed) < dari 0,05 maka hubungan antar variabel tersebut signifikan dan jika nilai sig. (2-tailed) > 0,05 maka hubungan antar variabel tersebut tidak signifikan. Nilai uji Korelasi *Rank Spearman* (**Tabel 6**) menyatakan bahwa nilai biodiversitas dan serapan karbon pada strata tumbuhan bawah memiliki nilai sig. (2-tailed) sebesar 0,897 karena nilai sig. (2-tailed) > 0,05 maka artinya hubungan antara indeks keanekaragaman dan serapan karbon tidak signifikan. Pada strata tumbuhan bawah dan pohon, nilai sig. (2-tailed) adalah 0,047 dan koefisien korelasi bernilai positif (0,448), yang menunjukkan adanya hubungan signifikan antara indeks keanekaragaman dan serapan karbon, karena nilai sig. < 0,05. Strata tumbuhan bawah, perdu, dan pohon secara keseluruhan memiliki nilai sig. (2-tailed) sebesar 0,255 menunjukkan tidak adanya hubungan signifikan antara indeks keanekaragaman dan serapan karbon.

Sebagai tindak lanjut dari hasil korelasi, dilakukan uji *Mann-Whitney* untuk mengetahui ada atau tidaknya perbedaan. Kriteria uji *Mann-Whitney* adalah jika nilai *Asymp. sig. (2-tailed)* < 0,5 maka terdapat perbedaan yang signifikan, sedangkan jika nilai *Asymp. sig. (2-tailed)* > 0,05 maka tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Hipotesis dari uji *Mann-Whitney* yaitu H_0 menyatakan tidak ada

Tabel 6. Nilai uji korelasi *Rank Spearman* pada strata tumbuhan

Kelas	Nilai Sig	Kesimpulan
- Tumbuhan bawah	0,897	Tidak ada hubungan antara nilai biodiversitas dan serapan karbon vegetasi pada strata tumbuhan bawah.
- Tumbuhan bawah + pohon	0,047	Terdapat hubungan yang signifikan antara nilai biodiversitas dan serapan karbon vegetasi pada strata tumbuhan bawah dan pohon.
- Tumbuhan bawah + pohon + perdu	0,255	Tidak ada hubungan antara nilai biodiversitas dan serapan karbon vegetasi pada strata tumbuhan bawah, pohon, dan perdu.

perbedaan antara nilai biodiversitas dan serapan karbon vegetasi, sementara itu H1 menyatakan terdapat perbedaan antara nilai biodiversitas dan serapan karbon vegetasi.

Berdasarkan hasil uji *Mann-Whitney* pada strata tumbuhan bawah (**Tabel 7**) menyatakan bahwa nilai *Asymp. sig. (2-tiled)* sebesar 0,019, karena nilai *Asymp. sig. (2-tiled)* < 0,05, sehingga H0 ditolak dan H1 diterima. Hal tersebut berarti bahwa nilai indeks keanekaragaman dan serapan karbon menunjukkan terdapat perbedaan.

Tabel 7. Nilai uji *Mann-Whitney* pada strata tumbuhan

Kelas	Nilai <i>Asymp sig</i>	Kesimpulan
- Tumbuhan bawah	0,019	H0: Ditolak
- Tumbuhan bawah + pohon	0,570	H0: Ditolak
- Tumbuhan bawah + pohon + perdu	0,850	H0: Diterima

Pada strata tumbuhan bawah – pohon hasil uji *Mann-Whitney* menyatakan bahwa nilai *Asymp. sig. (2-tiled)* sebesar 0,570 karena nilai *Asymp. sig. (2-tiled)* > 0,05 sehingga H0 ditolak dan H1 diterima. Hal tersebut berarti bahwa nilai indeks keanekaragaman dan serapan karbon menunjukkan terdapat perbedaan. Berbeda dengan strata tumbuhan bawah – pohon – perdu, berdasarkan hasil uji *Mann-Whitney* menyatakan bahwa nilai *Asymp. sig. (2-tiled)* sebesar 0,850 karena nilai *Asymp. sig. (2-tiled)* > 0,05 sehingga H0 diterima dan H1 ditolak. Hal tersebut berarti bahwa nilai indeks keanekaragaman dan serapan karbon menunjukkan tidak terdapat perbedaan.

Nilai biodiversitas dan serapan karbon pada strata tumbuhan bawah tidak memiliki hubungan dan menunjukkan adanya perbedaan, karena hanya terdapat 1 strata saja yaitu tumbuhan bawah. Pada

strata tumbuhan bawah dan pohon memiliki hubungan yang signifikan yaitu antara nilai biodiversitas dan nilai serapan karbon (**Tabel 6**). Hal tersebut terjadi karena nilai serapan karbon antara tumbuhan bawah dan serapan karbon memiliki perbedaan yang cukup jauh yaitu tumbuhan bawah 25,96 ton/ha dan pohon 234,42 ton/ha. Berbeda dengan hasil nilai biodiversitas dan serapan karbon antara tumbuhan bawah, pohon, dan perdu (**Tabel 6 & 7**) menunjukkan tidak memiliki hubungan dan tidak terdapat perbedaan. Nilai serapan karbon tumbuhan bawah 43,00 ton/ha, pohon 28,27 ton/ha, dan perdu 5,63 ton/ha. Hasil dari ketiga strata tersebut menunjukkan tidak memiliki perbedaan yang signifikan.

Menurut Ananda & Sutrisno (2022), vegetasi yang terdiri dari pohon-pohon dengan diameter kecil memiliki tingkat keanekaragaman yang tinggi, namun kandungan karbon yang tersimpan di dalam pohon-pohon tersebut cenderung sedang atau rendah. Dari hal tersebut menunjukkan bahwa nilai keanekaragaman tidak selalu berkaitan dengan cadangan karbon atau simpanan karbon. Jumlah simpanan karbon pada suatu penggunaan lahan dipengaruhi oleh keragaman jenis tumbuhan, ukuran diameter pohon penyusun, dan kepadatan individu. Semakin besar diameter pohon dan semakin banyak jumlah individu pohon penyusun, semakin tinggi pula proses penyerapan karbon dioksida, yang mengarah pada peningkatan nilai simpanan karbon (Ariyanti *et al.*, 2018). Menurut Yolanda *et al.* (2021), karbon dan biomassa memiliki korelasi yang positif maka jika ada peningkatan ataupun penurunan biomassa akan menyebabkan peningkatan ataupun penurunan juga pada kebon.

KESIMPULAN

Indeks keanekaragaman hayati di sawah irigasi masuk ke dalam kategori rendah dengan spesies dominan tunggal adalah padi. Perkebunan memiliki indeks keanekaragaman hayati sedang ($H' = 1,29-2,82$) dengan spesies tumbuhan yang lebih beragam. Serapan karbon tertinggi (7,68) terdapat di titik 5 dan terendah (0,01) di titik 7 pada lahan sawah irigasi, dan penyerapan karbon tertinggi (230,00) pada perkebunan terdapat di titik 37 dan terendah (0,01) di titik 39. Tidak terdapat hubungan antara keanekaragaman hayati dan serapan karbon pada strata 1 (tumbuhan bawah) dengan nilai sig. (2-tailed) sebesar 0,897 dan strata 3 (tumbuhan bawah + perdu + pohon) dengan nilai sig. (2-tailed) sebesar 0,255. Tanaman pada strata 1 hanya didominasi padi dan rumput gajah, sedangkan pada strata 3 didominasi oleh rumput gajah dan singkong. Pada strata 2 (tumbuhan bawah + pohon) terdapat hubungan yang signifikan dengan nilai sig. (2-tailed) sebesar 0,047 antara keanekaragaman hayati dan serapan karbon dengan beragam jenis tanaman yang didominasi oleh pohon kopi dan karet.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Kemendikti Saintek yang telah mendanai penelitian ini melalui hibah penelitian fundamental tahun 2024. Penelitian ini dilaksanakan berdasarkan Kontrak Induk (108/E5/PG.02.00.PL/2024), yang berlaku sejak tanggal 11 Juni 2024, sebagai landasan resmi pelaksanaan seluruh kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Alinus, Rafdinal, & Linda, R. (2017). Biomassa dan cadangan karbon di kawasan agroforestri karet tradisional di Desa

Nanga Pemubuh Kecamatan Sekadau Hulu Kabupaten Sekadau. *Jurnal Protobiont*, 6(3), 249–254.

Ananda, D.P., & Sutrisno, A.J. (2022). Penilaian korelasi biodiversitas dan karbon tersimpan pada Taman Kota Bendosari, Kota Salatiga. *Agrifor: Jurnal Ilmu Pertanian Dan Kehutanan*, 21(2), 227–240. <https://doi.org/10.31293/agrifor.v21i2.6014>

Ariyanti, D., Wijayanto, N., & Hilwan, I. (2018). Keanekaragaman Jenis Tumbuhan dan Simpanan Karbon pada Berbagai Tipe Penggunaan Lahan di Kabupaten Pesisir Barat Provinsi Lampung. *Journal of Tropical Silviculture*, 9(3), 167–174. <https://doi.org/10.29244/j-siltrop.9.3.167-174>

Baderan, D.W.K., Rahim, S., Angio, M., & Salim, A.I.Bin. (2021). Keanekaragaman, pemerataan, dan kekayaan spesies tumbuhan dari geosite potensial Benteng Otanaha sebagai rintisan pengembangan geopark Provinsi Gorontalo. *Al-Kauniyah: Jurnal Biologi*, 14(2), 264–274. <https://doi.org/10.15408/kauniyah.v14i2.16746>

Drupadi, T.A., Ariyanto, D.P., & Sudadi, S. (2021). Pendugaan kadar biomassa dan karbon tersimpan pada berbagai kemiringan dan tutupan lahan di KHDTK Gunung Bromo UNS. *Agrikultura*, 32(2), 112. <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v32i2.32344>

Faisal, M., Djafar, M., & Nurnawati, A.A. (2021). Pemanfaatan citra Alos Palsar untuk estimasi kandungan serapan karbon di Wilayah Pesisir Kabupaten Maros. *Jurnal Eboni*, 3(1), 49–56. <https://ejournals.umma.ac.id/index.php/eboni/article/view/1028>

Hairiah, D.K., & Rahayu, S. (2007). “Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Penggunaan Lahan.” World Agroforestry Center-ICRAF.

Hidayat, M. (2018). Analisis vegetasi dan keanekaragaman tumbuhan di kawasan manifestasi geotermal IE Suum

- Kecamatan Mesjid Raya Kabupaten Aceh Besar. *BIOTIK: Jurnal Ilmiah Biologi Teknologi dan Kependidikan*, 5(2), 114–124. <https://doi.org/10.22373/biotik.v5i2.3019>
- Hikmat, A., & Setyawati, T. (2017). Komposisi, Struktur dan Keanekaragaman Spesies Tumbuhan Di Cagar Alam Dungus Iwul, Kabupaten Bogor. *Media Konservasi*, 22(2), 138–145.
- Ikhsan, Z., Ode, I., Fitrahtunnisa, Samson, E., Firmansyah, Mariane, I., Ashar, J.R., & Pangestuti, R. (2024). *Keanekaragaman Hayati Tumbuhan*. TOHAR MEDIA. (<https://books.google.co.id/books?id=8ZoPEQAAQBAJ>).
- Iskandar, Y., Hendrayana, Y., Karyaningsih, I., & Artikel, R.J. (2020). Pendugaan karbon tumbuhan bawah di Tegakan Pinus Bumi Perkemahan Pasirbatang Taman Nasional Gunung Ciremai. *Jurnal Ilmiah Biologi Unsoed*, 2(3), 376–381.
- Lestari, K.W., & Dewi, N. (2023). Potensi simpanan karbon pada beberapa tipe agroforestri berbasis kopi robusta di Desa Rowosari, Jember. *Journal of Tropical Silviculture*, 14(02), 150–157. <https://doi.org/10.29244/j-siltrop.14.02.150-157>
- Maulida, M., Farhaton, F., Dini, H., & Hidayat, M. (2018). Stok karbon pohon di Kawasan Hutan Sekunder Rinon Pulo Breuh Kabupaten Aceh Besar. *Prosiding Seminar Nasional Biologi, Teknologi dan Kependidikan*, 4(1). <https://doi.org/10.22373/pbio.v4i1.2601>
- Nasir, M., Burhanuddin, & Dewantara, I. (2019). Keanekaragaman jenis vegetasi penyusun hutan mangrove di Desa Medan Mas Kabupaten Kubu Raya. *Jurnal Hutan Lestari*, 7(2), 973–982. <https://doi.org/10.26418/jhl.v7i2.34886>
- Putri, A.H.M., & Wulandari, C. (2015). Potensi penyerapan karbon pada tegakan damar mata kucing (*Shorea javanica*) di Pekon Gunung Kemala Krui Lampung Barat. *Jurnal Sylva Lestari*, 3(2), 13. <https://doi.org/10.23960/jsl2313-20>
- Rahajoe, J.S., Alhamd, L., Sundari, S., & Handayani, D. (2016). *Stok Karbon dan Biomasa Beberapa Komoditas Tanaman Pertanian Di Bodogol- Taman Nasional Gunung Gede Pangrango – Jawa Barat (Carbon Stock and The Biomasa of Some Agriculture Commodities in the Bodogol-Gunung Gede Pangrango National Park -West Java)*.
- Rawana, Wijayani, S., & Masrur, M.A. (2023). Indeks Nilai penting dan keanekaragaman komunitas vegetasi penyusun hutan di Alas Burno SUBKPH Lumajang. *Jurnal Wana Tropika*, 12(02), 80–89. <https://doi.org/10.55180/jwt.v12i02.215>
- Sari, R.R., Ishaq, R.M., Purnamasari, E., & Saputra, D.D. (2025). Fungsi ganda agroforestri kopi : Konservasi cadangan karbon dan keanekaragaman vegetasi. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 12(1), 159–169. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2025.012.1.16>
- Seftyono, C. (2014). Rawa pening dalam perspektif politik lingkungan: Sebuah kajian awal. *Indonesian Journal of Conservation-Universitas Negeri Semarang*, 3(1), 7–15.
- Setiarno, Hidayat, N., T.A.B., & Luthfi, S.M. (2022). Komposisi jenis dan struktur komunitas serta keanekaragaman jenis vegetasi di Areal Cagar Alam Bukit Tangkiling. *Hutan Tropika*, 15(2), 150–162. <https://doi.org/10.36873/jht.v15i2.2170>
- Shiddieq, D., Sudira, P., & Tohari. (2018). *Aspek Dasar Agronomi Berkelanjutan*. UGM PRESS. (<https://books.google.co.id/books?id=EcZdDwAAQBAJ>).
- Wihardjaka, A. (2015). Mitigasi emisi gas metana melalui pengelolaan lahan sawah. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 34(3), 30943. <https://doi.org/10.21082/jp3.v34n3.2015.p95-104>
- Wijayanto, N., & Prasetyo, A. (2021). Struktur vegetasi, komposisi, dan serapan karbon pekarangan di Desa Duyung, Kecamatan Trawas, Kabupaten Mojokerto. *Journal of Tropical Silviculture*, 12(3), 144–150.

<https://doi.org/10.29244/j-siltrop.12.3.144-150>

- Wulandari, S., Fauziah, Y., & Irfan, I. (2022). Analisis potensi cadangan carbon nekromasa di Hutan Larangan Adat Kenagarian Rumbio Kecamatan Kampar Provinsi Riau. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, 9(2), 118–123. <https://doi.org/10.31258/dli.9.2.p.118-123>
- Yolanda, Y.W., Ilyas, I., & Sufardi, S. (2021). Potensi karbon biomassa pada beberapa tipe penggunaan lahan di Kecamatan Blang Bintang Kabupaten Aceh Besar. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 6(3), 201–209. <https://doi.org/10.17969/jimfp.v6i3.16949>
- Yuniawati, Y., Dulsalam, D., & Andini, S. (2022). Potensi simpanan karbon dan emisi CO_2 akibat penebangan di Hutan Alam Papua. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 40(2), 61–73. <https://doi.org/10.20886/jphh.2022.40.2.61-73>